

Молниезащита сетей наружного освещения

БОРИСОВ Р.К., ЗАЖИГИН В.В., СМИРНОВ М.Н.

Для освещения территорий объектов, предназначенных для проведения культурно-массовых мероприятий и стадионов, используются современные системы наружного освещения, состоящие из кабельных линий 0,4 кВ, мачт освещения со светодиодными светильниками, цифровых систем контроля и управления. При ударах молнии в мачты, являющиеся естественными молниеотводами, или вблизи объектов возникает опасность поражения людей, повреждения чувствительного дорогостоящего оборудования и кабельных линий. Рассмотрена молниезащита сетей наружного освещения. Определены условия обеспечения защиты оборудования наружного освещения, электробезопасности людей и животных при ударах молнии в мачты или вблизи сетей наружного освещения. Расчетным путем определено распределение потенциалов вблизи мачт освещения и наведенных перенапряжений в кабельных линиях. Разработаны мероприятия по защите оборудования и людей от опасных воздействий молнии. Экспериментально при имитации удара молнии в мачту с помощью разряда вертикального проводника проведена проверка проектных решений по молниезащите стадиона с мачтами освещения.

Ключевые слова: молниезащита, сети наружного освещения, импульсные перенапряжения, напряжение прикосновения и шага, устройства защиты

К сетям наружного освещения (СНО) относятся установки электрического освещения зданий, помещений и сооружений наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов, территорий предприятий и учреждений, установки световой рекламы, световые знаки и иллюминационные установки. Современные СНО, оснащенные светодиодными светильниками, цифровыми системами контроля и управления, являются дорогостоящими объектами и чувствительными к электромагнитным помехам. При нарушениях в работе требуются значительные трудозатраты на восстановление нормального функционирования СНО. Известно, что нарушения в работе сетей наружного освещения с повреждением оборудования часто обусловлены грозовыми и коммутационными перенапряжениями, возникающими в процессе эксплуатации. Грозовые перенапряжения в сетях наружного освещения возникают как при прямом ударе молнии, так и в результате вторичных воздействий молнии. Поэтому защита от опасного воздействия молнии необходима для СНО. Как правило, СНО представляют собой линию 0,4 кВ со светильниками на опорах. Освещение зданий и сооружений находится в зоне защиты от прямого удара молнии этих зданий. Поэтому защита от прямого удара молнии СНО нормативными документами не предусматривается. Молниезащита таких СНО сводится к защите оборудования от вторичных воздействий молнии.

Отдельно следует рассматривать такие объекты, как, например, стадион. На таких объектах СНО (мачты) выполняют функцию естественного молниеотвода, защищая от прямого удара молнии людей и другие объекты.

Защита от прямого удара молнии. В качестве примера рассмотрим молниезащиту стадиона «Энергия» (рис. 1). На стадионе оборудовано наружное освещение: установка прожекторных мачт, монтаж системы электропитания ламп освещения и автоматизированной системы управления освещением. Для наружного освещения стадиона применяются светодиодные лампы типа LED (LumiStreet) Philips.

Вероятность удара молнии в территорию стадиона без прожекторных мачт определяется по [1]. Число ударов на 1 км^2 площади $N = 6,7T_d / 100$, где T_d – среднегодовая продолжительность гроз в часах. Для Москвы по картам грозовой активности $T_d = 40 \div 60$ ч в год. С учетом того, что часть стадиона занята зданиями, площадь открытой части составляет примерно $(0,2 \times 0,1 \text{ км}^2)$. $N = 6,7 \times 0,02 \times 0,6 = 0,084N = 6,7 \times 0,02 \times 0,6 = 0,084$ удара в год. Наиболее вероятно, что все удары будут в прожекторные мачты. После установки 27 м прожекторных мачт площадь стягивания молнии увеличивается за счет развития встречных лидеров ($N = 0,2$ удара в год). Таким образом, вероятность удара молнии в территорию стадиона возрастает примерно в 3 раза. Действующими в РФ документами по молниезащите являются [1, 2]. Объект по

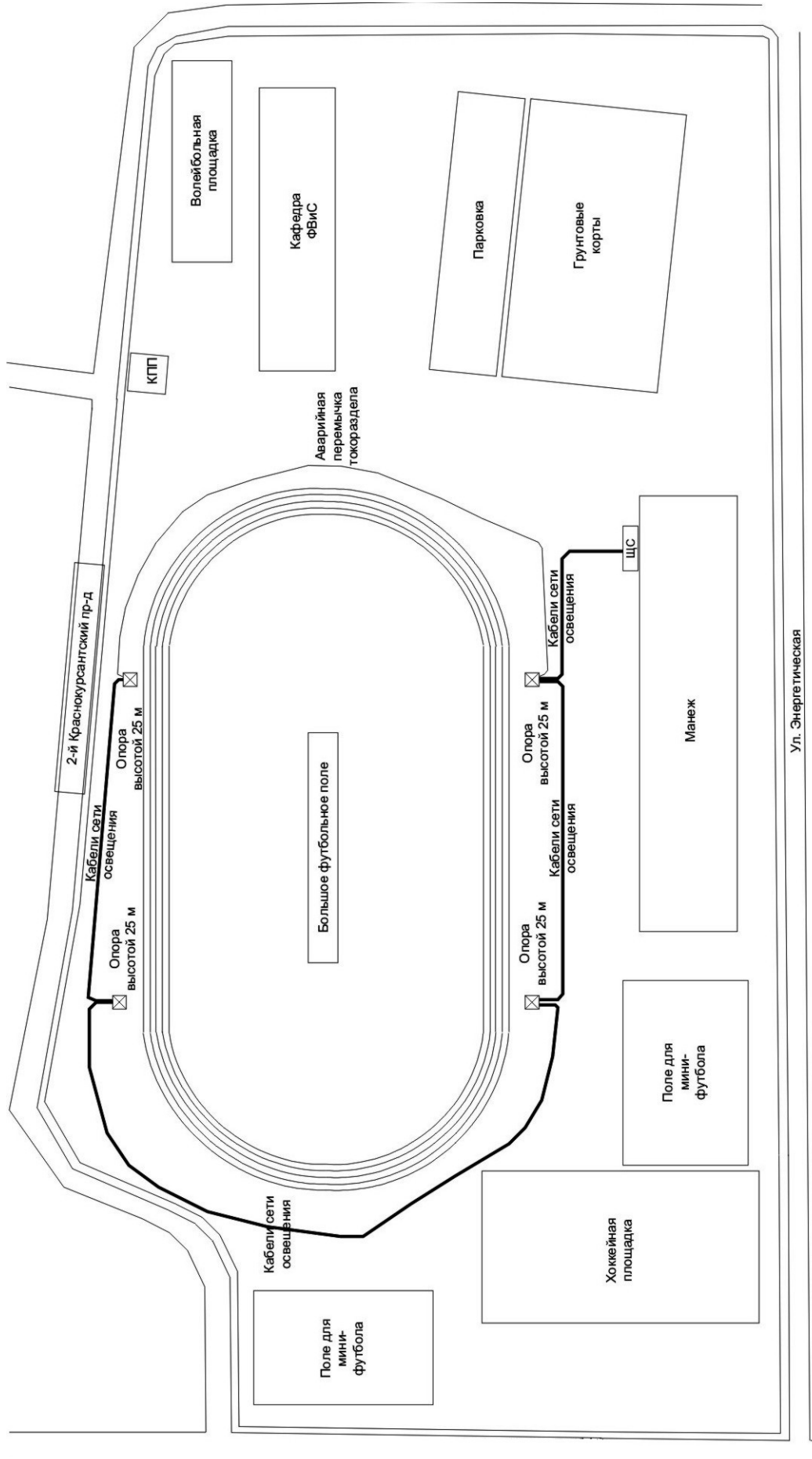


Рис. 1. Система наружного освещения на стадионе «Энергия»

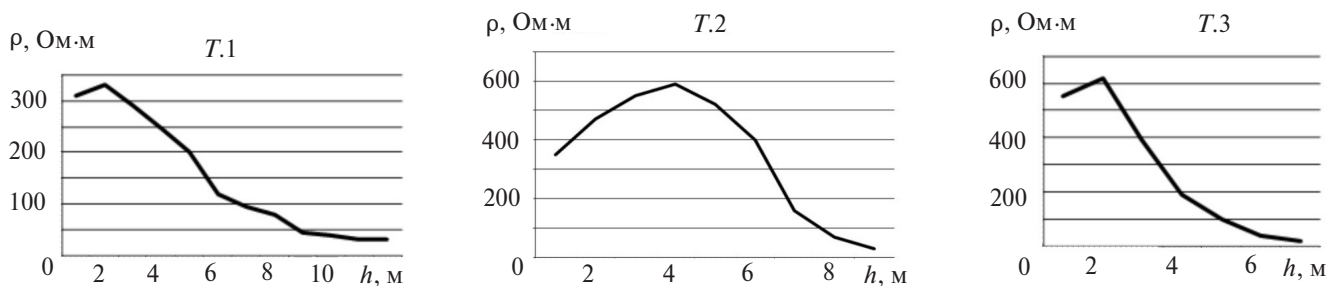


Рис. 2. Кажущееся удельное сопротивление грунта

[1] относится к III категории по надежности защиты.

Расчет зон защиты проводился с помощью программы «ProZon», в которой реализованы методы расчета по [1, 2]. Наиболее опасной зоной для прямого удара молнии является открытая территория: футбольное поле, беговая дорожка и кроссовый круг. Естественными молниеприемниками являются мачты освещения высотой 27 м. Практически вся территория стадиона находится в зоне защиты прожекторных мачт по зоне А и В по [1].

Защита от напряжения прикосновения и шага. Учитывая то, что на стадионе во время грозы могут находиться люди (на беговых дорожках или на футбольном поле), необходимо разработать мероприятия, обеспечивающие защиту их от воздействия напряжения прикосновения и шага при ударе молнии в прожекторные мачты. Прежде всего необходимо правильно выполнить заземляющее устройство мачт освещения, так как наиболее вероятен удар молнии в них.

По результатам измерений удельного сопротивления грунта в нескольких точках (рис. 2) было установлено, что сопротивление верхнего слоя грунта составляет (200–600) Ом·м, а нижние слои грунта, начиная с 5–8 м, имеют удельное сопротивление менее 50 Ом·м.

Расчеты значений напряжения прикосновения и шага при ударах молнии в прожекторные мачты проводились для различных конструкций заземляющего устройства по программе «ОРУ-М». Фундамент мачты рассматривался как естественный заземлитель мачты.

Напряжения шага могут превышать допустимые значения (6–7 кВ в импульсе) на расстоянии более 10 м от мачты (на кроссовой и беговой дорожках) при ударе молнии в мачту, если в качестве заземлителя мачты использовать только ее фундамент.

При установке вертикального заземлителя и соединения заземляющих устройств мачт с помощью стальной полосы, проложенной в грунте, напряжения шага снижаются до безопасных значений. Напряжение прикосновения к мачте выше допустимого значения, поэтому необходимо делать ас-

фальтовую отмотку вокруг мачты шириной не менее 1 м.

Защита от импульсных перенапряжений оборудования. При ударе молнии в мачту освещения в результате воздействия электромагнитного поля в проводных кабельных линиях наводятся импульсные помехи. Ток молнии, протекающий по ЗУ мачты, создает высокий потенциал на земле и может вызвать обратные перекрытия изоляции кабелей. Для того чтобы правильно выбрать защиту от импульсных помех, необходимо знать амплитудно-частотные характеристики импульсов напряжения.

Импульсные помехи определяют обычно расчетом по компьютерной программе. Для расчетов необходимо знать коэффициент экранирования кабелей, проложенных в грунте, который определяется экспериментально.

На стадионе «Энергия» было проведено экспериментальное определение импульсных помех при имитации молнии [3]. Электромагнитное поле создавалось вертикальным проводом (длиной 45 м), который поддерживался в воздухе квадракоптером (рис. 3).

Провод заряжался от источника постоянного тока (ИПТ) до напряжения примерно 30 кВ и разряжался через шаровой разрядник на заземлитель мачты. Для измерения тока в разрядной цепи установлен шунт $R_{ш}$. Для демпфирования колебаний тока в разрядную цепь включался резистор сопротивлением 1,5 кОм.

На поверхности земли вдоль кабельной трассы (см. рис. 1) был проложен провод. С помощью осциллографа FLUKE 199 осуществлялась регистрация напряжений: на шунте (сопротивление 7,5 Ом), на проводе и на жилах кабеля электропитания относительно заземляющего устройства мачты.

Типичные осциллограммы напряжения приведены на рис. 4.

Из осциллограмм видно, что амплитуда импульса тока составила примерно 25 А. С учетом того что измеренное импульсное сопротивление заземляющего устройства составляет 1,5 Ом, напряжение на заземляющем устройстве мачты будет около

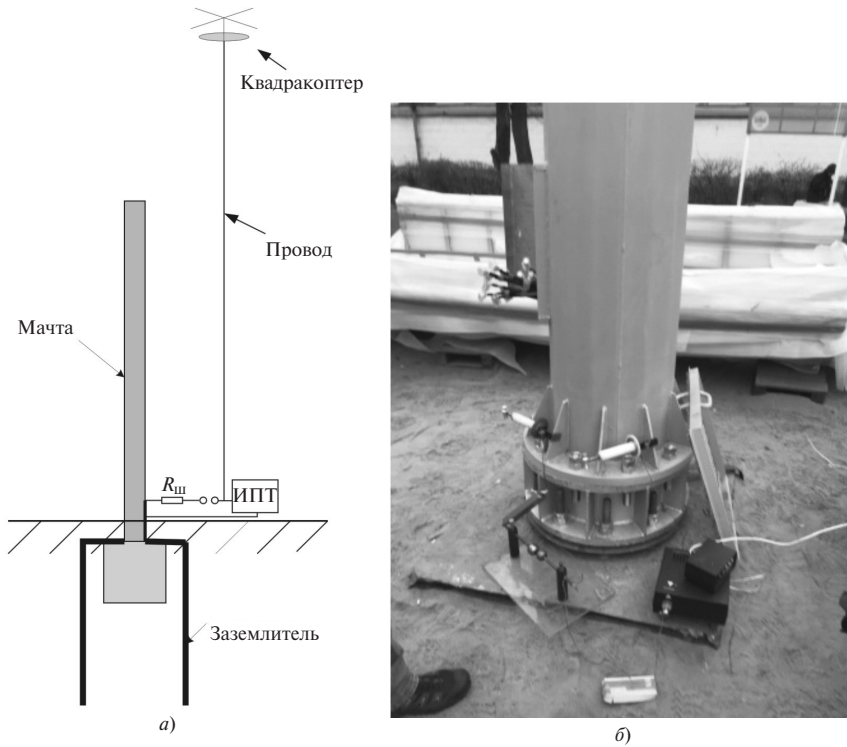


Рис. 3. Эксперименты по имитации удара молнии в мачту: а — схема эксперимента; б — устройство по заряду и разряду провода на мачту

40 В. На осциллограммах получаем разность потенциалов провод—заземлитель 500 В и жила кабеля—заземлитель 60 В. Нормированное значение

тока молнии [1] для второго импульса: фронт 0,25 мкс и амплитуда 25 кА. Если пересчитать к току молнии значения, полученные при токе 25 А и фронте импульса 0,1 мкс, то наведенные напряжения в проводе (минус напряжение на заземляющем устройстве) составят 200 кВ, а в кабеле — 24 кВ.

Очевидно, что без защитных устройств от импульсных перенапряжений (УЗИП) неизбежно при ударе молнии в мачту повреждение кабелей и оборудования. О необходимости защиты от атмосферных перенапряжений низковольтных сетей даются указания в нормативных документах [1, 4, 5]. Поэтому предусмотрена установка УЗИП II класса для систем ТНС на мачтах освещения и в ВРЩ. Выбор типа и характеристик УЗИП проводился в соответствии с требованиями [6].

Заключение. Современные

СНО, оснащенные светодиодными светильниками, цифровыми системами контроля и управления, являются дорогостоящими объектами и чувствитель-

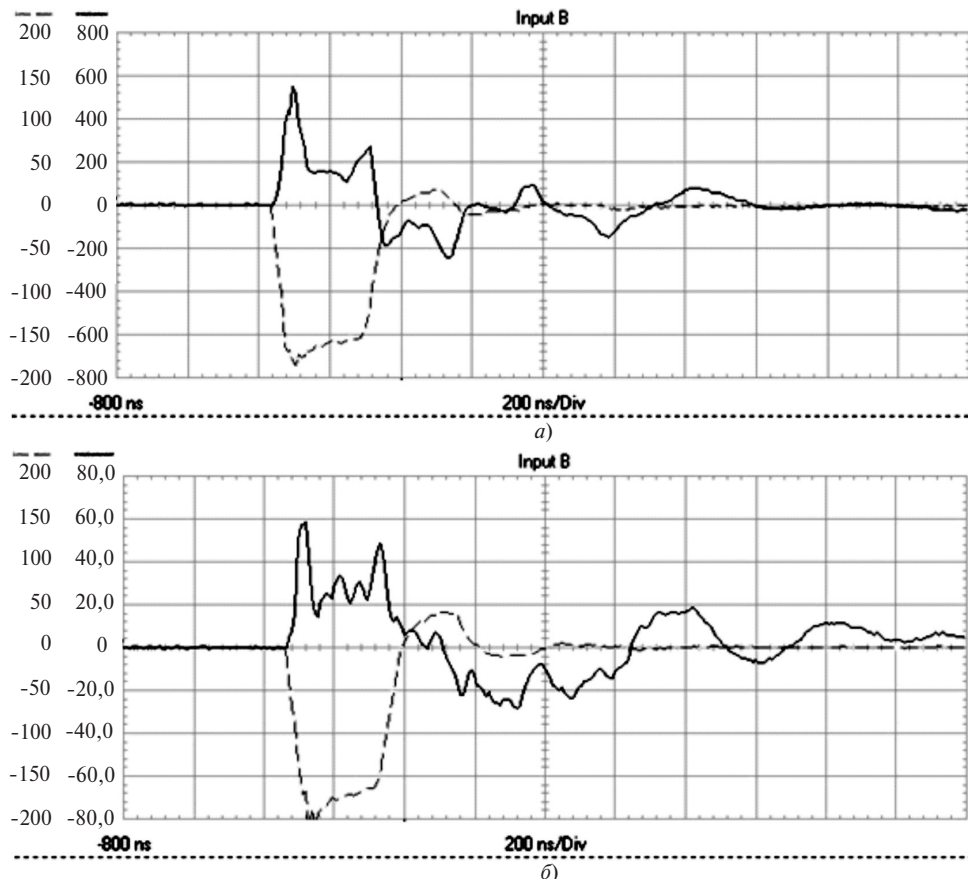


Рис. 4. Осциллограммы напряжения на шунте 7.5 Ом (---) и на проводе (а) и жиле кабеля (б) относительно земли (—)

ны к электромагнитным помехам. Нарушения в работе сетей наружного освещения с повреждением оборудования часто обусловлены грозовыми перенапряжениями.

Особыми объектами наружного освещения являются территории, предназначенные для массовых зрелищных мероприятий, и стадионы. Как правило, для освещения таких объектов используются мачты освещения, являющиеся естественными молниеотводами. При ударах молнии в мачты возникает опасность для людей и оборудования, поэтому необходимо предусматривать специальные мероприятия по их защите от электромагнитных воздействий молнии: выполнение системы выравнивания потенциалов, экранирование кабельных линий и установка УЗИП.

Наиболее эффективным экспериментальным методом проверки правильности выполнения молниезащиты является имитация молнии с помощью разряда вертикального проводника на мачту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СО-153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.
2. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

3. Борисов Р.К., Коломиец Е.В. Методы и средства определения надежности молниезащиты объектов электроэнергетики.— Сборник докладов 2-ой Российской конф. по молниезащите. Москва, 22—24 сентября 2010 г.

4. ГОСТ Р 50571.4.44—2019 (МЭК 60364-4-44:2007). Электроустановки низковольтные. Ч. 4.44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений.

5. ГОСТ Р МЭК 62305-4-2016. Защита от молнии. Ч. 4. Защита электрических и электронных систем внутри зданий и сооружений.

6. ГОСТ Р 51992-2011 (МЭК 61643-1:2005). Устройства защиты от импульсных перенапряжений низковольтные. Ч. 1. Устройства защиты от импульсных перенапряжений в низковольтных силовых распределительных системах. Технические требования и методы испытаний.

[08.06.2020]

А в т о р ы: **Борисов Руслан Константинович** — кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры «Техника и электрофизика высоких напряжений» (ТЭВН) НИУ «Московский энергетический институт», диссертацию защитил в 1981 г.

Зажигин Василий Викторович — кандидат техн. наук, доцент Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина, диссертацию защитил в 1999 г.

Смирнов Максим Николаевич — заместитель генерального директора НПФ «ЭЛНАП».

Electrichestvo, 2020, No. 9, pp. 28—33

DOI:10.24160/0013-5380-2020-9-28-33

Lightning Protection of Outdoor Lighting Networks

BORISOV Ruslan K. (*National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia*)
— Senior Researcher of High Voltage Engineering and Electrophysics Dept., Cand. Sci. (Eng.)

ZAZHIGIN Vasily V. (*Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin, Moscow, Russia*) — Associate Professor, Cand. Sci. (Eng.)

SMIRNOV Maxim N. (*NPF «ELNAP», Moscow, Russia*) — Deputy General Director

The territories of facilities intended for carrying out mass cultural events and of stadiums are lighted using modern outdoor lighting systems, which consist of 0.4 kV cable lines, light poles with LED luminaires, and digital instrumentation and control systems. If lightning strikes hit at the poles, which serve as natural lightning diverters, or near the facilities, there occurs a danger of injuring people or inflicting damage to sensitive expensive equipment and cable lines. The lightning protection of outdoor lighting networks is considered. The conditions under which the protection of outdoor lighting equipment and electrical safety of people and animals are ensured in the case of lightning strikes at the poles or near the outdoor lighting networks are determined. The distribution of potentials near lighting poles and the overvoltages induced in the cable lines are determined by calculation. Measures for protecting the equipment and people against dangerous lightning impacts are elaborated. The design solutions on lightning protection of a stadium with lightning poles are experimentally checked through simulating a lightning stroke at the pole by discharge at a vertical conductor.

Key words: lightning protection, outdoor lighting networks, surge overvoltages, touch voltage, step voltage, protection device

REFERENCES

1. **SO-153-34.21.122-2003.** *Instruktsiya po ustroystvu molniyezashchity zdaniy, sooruzheniy i promyshlennykh kommunikatsiy* (Instructions for the device of lightning protection of buildings, structures and industrial communications).

2. **RD 34.21.122-87.** *Instruktsiya po ustroystvu molniyezashchity zdaniy i sooruzheniy* (Instructions on the device for lightning protection of buildings and structures).

3. **Borisov R.K., Kolomiyets E.V.** *Metody i sredstva opredeleniya nadezhnosti molniyezashchity ob"yektov elektroenergetiki. – Sbornik dokladov 2-oy Rossiyskoy konf. po molniyezashchite* (Methods and means for determining the reliability of lightning protection of power facilities – Collection of reports of the 2nd Russian conf. lightning protection). Moscow, September 22–24, 2010).

4. **GOST R 50571.4.44–2019 (IEC 60364-4-44: 2007).** *Elektrostanovki nizkovol'tnyye. Ch. 4.44. Zashchita dlya obespecheniya bezopasnosti. Zashchita ot rezkikh otkloneniy*

napryazheniya i elektromagnitnykh vozmushcheniy (Low-voltage electrical installations. Part 4.44. Protection to ensure safety. Protection against sudden voltage fluctuations and electromagnetic disturbances).

5. **GOST R IEC 62305-4-2016.** *Zashchita ot molnii. Ch. 4. Zashchita elektricheskikh i elektronnykh sistem vnutri zdaniy i sooruzheniy* (Lightning protection. Part 4. Protection of electrical and electronic systems inside buildings and structures).

6. **GOST R 51992-2011 (IEC 61643-1: 2005).** *Ustroystva zashchity ot impul'snykh perenapryazheniy nizkovol'tnyye. Ch. 1. Ustroystva zashchity ot impul'snykh perenapryazheniy v nizkovol'tnykh silovykh raspredelitel'nykh sistemakh. Tekhnicheskiye trebovaniya i metody ispytaniy* (Low voltage surge protection devices. Part 1. Devices of protection against impulse overvoltage in low-voltage power distribution systems. Technical requirements and test methods).

[08.06.2020]